



COURS D'ÉLECTRICITÉ

SÉRIE 03

OBJECTIF PÉDAGOGIQUE :

À l'issue de cette leçon, le stagiaire doit être capable d'appliquer les lois de l'électricité.

PLAN DE LA LEÇON :

- I- DÉFINITION DES GÉNÉRATEURS DE COURANT ET DE TENSION**
- II- ASSOCIATION DES GÉNÉRATEURS**
- III- LA LOI D'OHM**
- IV- ASSOCIATION DE RÉSISTANCES**
- V- LOI DE JOULE**
- VI- ÉLÉMENTS DE CIRCUIT : BRANCHE, NŒUD, MAILLE**
- VII- LOIS DE KIRCHOFF**
- VIII- THÉORÈMES**

I- DÉFINITION DES GÉNÉRATEURS DE COURANT ET DE TENSION :

Un générateur est un dispositif qui fournit de l'énergie électrique. Il est considéré comme source de courant électrique.

Exemples :

- Pile qui alimente nos petits récepteurs radio.
- Accumulateurs qui assurent l'alimentation en électricité des automobiles et les dynamos des bicyclettes.
- Tout générateur possède deux bornes appelées PÔLES
 - Un pôle négatif repéré en noir ou par le signe –
 - Un pôle positif repéré en rouge ou par le signe +
- En représente le générateur par le symbole suivant :

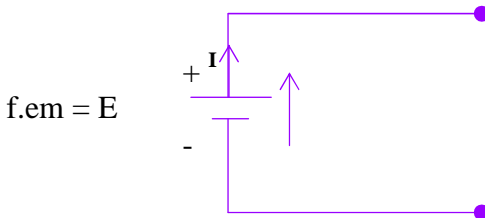


Fig.1 : Symbole d'un générateur

- La constitution interne d'un générateur est telle qu'il y a en permanence un excès d'électrons sur le pôle négatif et un manque d'électrons sur le pôle positif, ce qui crée une différence de potentiel (d.d.p) permanente entre les deux pôles qu'on appelle FORCE ELECTROMOTRICE (f.e.m) du générateur.

Exemple :

$E = 4,2V$ ou $E = 12V \dots$

II- ASSOCIATION DES GÉNÉRATEURS :

Des générateurs peuvent être groupés entre eux pour obtenir soit de plus grandes tensions (groupement série), soit de plus grands courants (groupement parallèle).

1- Association en série :

Deux générateurs sont en série quand la borne positive de l'un est reliée à la borne négative de l'autre. (fig.2).

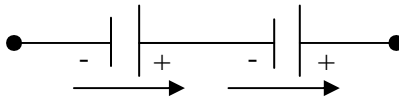


Fig.2 : Schéma des générateurs en série

- L'ensemble peut être remplacé par un générateur unique. Il est commode de représenter un générateur par un circuit équivalent qui fait intervenir sa f.e.m E et sa résistance interne.
- Considérons deux générateurs de f.e.m E_1 et E_2 et de résistance interne r_1 et r_2 montés en série :

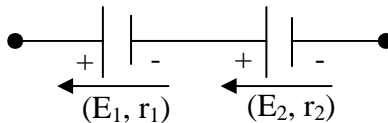


Fig.3 : Association en série

L'ensemble des deux générateurs est équivalent à un seul générateur qui aurait pour f.e.m la somme des deux f.e.m, et pour résistance interne la somme des deux résistances internes.

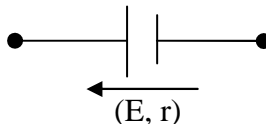


Fig.4 : Modèle équivalent de l'ensemble

Tel que : $E = E_1 + E_2$ et $r = r_1 + r_2$

Exemple :

Une pile plate de 4,5V est constituée de trois éléments de 1,5V groupés en série.

2- Association en parallèle :

Deux générateurs sont en parallèle lorsque leurs bornes homologues sont reliées entre elles (fig.5).

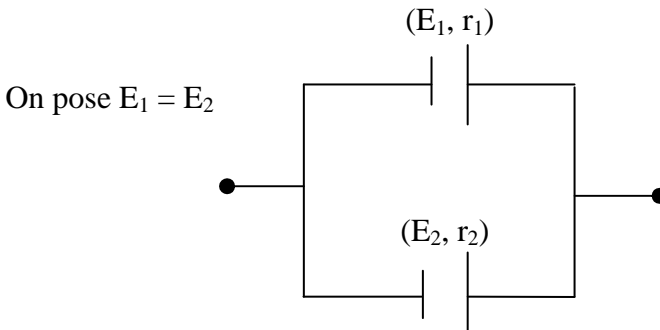


Fig.5 : Association parallèle de deux générateurs

L'ensemble des deux générateurs est équivalent à un seul générateur qui aurait pour f.e.m la même f.e.m E et pour résistance interne r la résistance équivalente des deux résistances internes r_1 et r_2 placées en parallèle (Fig.6).

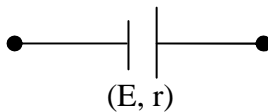


Fig.6 : Modèle équivalent

$$\text{Tel que : } E = E_1 = E_2 \text{ et } r = \frac{E_1 \cdot r_1 + E_2 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$$

Remarque : Généralement le montage de générateurs chimiques (piles, batteries...) en parallèle est déconseillé.

III- LA LOI D'OHM :

En appliquant successivement des tensions U_1, U_2, U_3 aux bornes d'une résistance et en mesurant les courants correspondants I_1, I_2, I_3 ; nous constatons que les rapports :

$\frac{U_1}{I_1}, \frac{U_2}{I_2}, \frac{U_3}{I_3}$ sont sensiblement égaux.

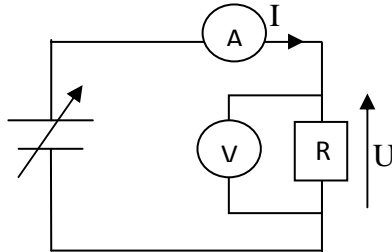


Fig.7 : Montage permettant de relever la caractéristique $U(i)$ d'une résistance.

: Générateur de tension variable

: Ampèremètre

: Voltmètre

R : Résistance (autre symbole :)

- Le rapport $\frac{U}{I}$ est la valeur de la résistance, la loi d'ohm est connue

sous la forme : $U = R \cdot I$ $\left\{ \begin{array}{l} U : \text{tension [v]} \\ I : \text{courant [A]} \end{array} \right.$

R : résistance [Ω]

Exemple :

Calculer la valeur de la résistance qui est traversée par un courant de 15mA quand on lui applique une tension de 12V.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12}{15 \cdot 10^{-3}} = 800 \, \Omega \text{ (on a : } 1\text{mA} = 10^{-3}\text{A)}$$

IV- ASSOCIATION DE RÉSISTANCES :

On associe dans un circuit des résistances, soit pour obtenir une plus grande résistance (association série), soit une résistance plus petite (association parallèle).

1- Association en série :

Les résistances groupées en série sont disposées l'une à la suite de l'autre, elles sont traversées par le même courant d'intensité I .

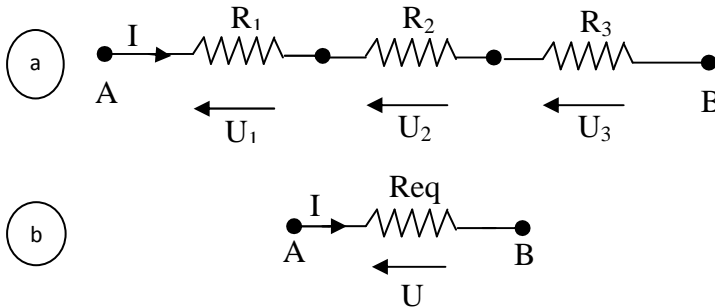


Fig.8 : a. Association de trois résistances en série
b. Dipôle équivalent

Nous pouvons écrire :

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

$$\text{Soit: } U = (R_1 + R_2 + R_3) I$$

Le dipôle équivalent à cet ensemble présente une résistance R_{eq} telle que :

$$U = R_{eq} \cdot I$$

Donc :

$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

2- Association en parallèle :

Entre A et B sont associées trois résistances R_1 , R_2 , R_3 alimentées sous la même tension U .

On peut écrire :

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

Soit :

$$I = U \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right]$$

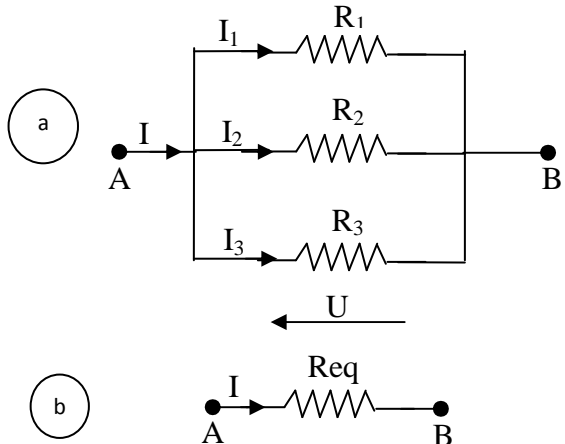


Fig.9 : a. Association de trois résistances en parallèle

b. Dipôle équivalent

Le Dipôle équivalent présente une résistance R_{eq} telle que :

$$I = \frac{U}{R_{eq}}$$

$$D'où : \quad \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Exemple :

Soient : $R_1 = 220 \, \Omega$, $R_2 = 330 \, \Omega$ et $R_3 = 470 \, \Omega$

En série : $R_{eq} = 220 + 330 + 470 = 1020 \, \Omega$.

En parallèle : $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{220} + \frac{1}{330} + \frac{1}{470} = 9,69 \cdot 10^{-3} \Rightarrow R_{eq} = 103,2 \, \Omega$.

Remarque :

Pour une association de n résistances :

En série : $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$

En parallèle : $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$

V-LOI DE JOULE :

Le passage d'un courant électrique dans un conducteur est toujours accompagné d'un dégagement de chaleur. Cet effet thermique a reçu le nom d'EFFET JOULE.

Expérimentalement, on montre que l'énergie thermique W dissipée dans le conducteur est proportionnelle à la durée T de passage du courant et au carré de l'intensité I du courant, on a donc :

$$W = R \cdot I^2 \cdot T$$

W est exprimé en joule (**J**)

I est exprimé en Ampère (**A**)

R est exprimé en Ohm (Ω)

T est exprimé en seconde (**S**)

VI- ÉLÉMENTS DE CIRCUITS : BRANCHE, NŒUD, MAILLE :

Pour réaliser un circuit électrique il faut au moins : un générateur, un récepteur (lampe, résistance, moteur...) et des fils de liaison.

- Le générateur est la source d'énergie.
- Les fils de liaison assurent le transport de l'énergie électrique vers le récepteur.
- Le récepteur convertit l'énergie électrique en exploitant les effets du courant électrique (effets calorifiques, lumineux, magnétiques, chimiques, etc...).

Soit le circuit ci-contre :

- Un **nœud** est une connexion qui réunit plus de deux dipôles. Pour notre circuit : A et B sont des **nœuds**.

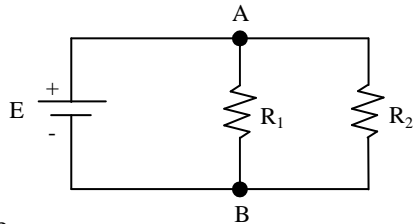


Fig.10 : Circuit électrique à trois mailles

- Une branche est une portion comprise entre deux nœuds consécutifs.

Le circuit comporte :

- Trois branches entre les nœuds A et B.
- Une maille est un chemin fermé, le circuit comporte 3 mailles.
 - E, A, R_1 , B, E
 - A, R_2 , B, A
 - E, A, R_2 , B, E

VII- LOIS DE KIRCHOFF :

Dans un circuit électrique complexe, il est possible de calculer les différences de potentiel aux bornes de chaque résistance et l'intensité du courant continu dans chaque branche de circuit en appliquant les deux lois de Kirchoff : La **loi de nœuds** et la **loi des mailles**.

1- Loi des nœuds :

La somme des intensités des courants qui entrent par un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui sortent du même nœud.

On a, d'après l'exemple :

I_1, I_2, I_4 : Courants entrants

I_3, I_5 : Courants sortants

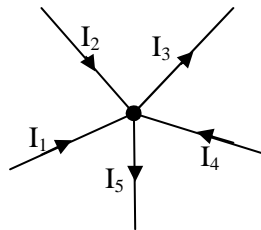


Fig.11 : Schéma d'un montage électrique illustrant la loi des nœuds

D'après la loi des nœuds

$$I_1 + I_2 + I_4 = I_3 + I_5$$

2- Loi des mailles :

On choisit un sens arbitraire pour la maille. On décrit la maille dans le sens choisi et on écrit que la somme algébrique des tensions est nulle en respectant la convention suivante :

- Si la flèche de la tension a le sens de la maille, la tension est affectée du signe +.
- Si la flèche de la tension a le sens contraire de la maille, la tension est affectée du signe -.

Exemple :

Compte tenu du sens de parcours choisi nous écrivons :

$$E - U_1 - U_2 - U_3 = 0$$

Donc :

$$E - R_1 I_1 - R_2 I_2 - R_3 I_3 = 0$$

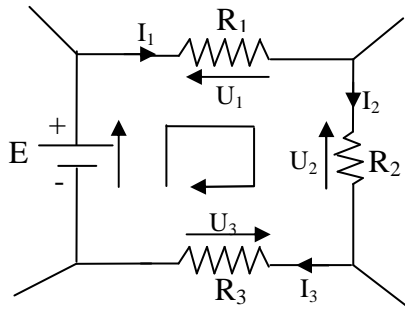


Fig.12 : Application de la loi des mailles

EXERCICE :

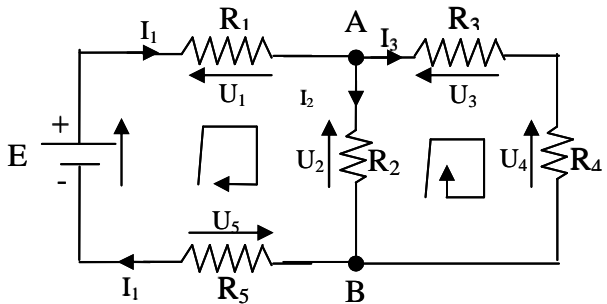
Soit le circuit ci-contre :

- Donner le nombre de nœuds.

- Donner le nombre de branches.

- Donner le nombre de mailles.

- Écrire les équations de tous les nœuds et mailles (Appliquer les lois de Kirchhoff)



SOLUTION :

- On a 2 nœuds, 3 branches, 3 mailles ($E, R_1, A, R_2, B, R_5, E$) et (A, R_2, B, R_4, R_3, A) et ($E, R_1, A, R_3, R_4, B, R_5, E$)

- Les expressions :

$$\text{Nœud A} = I_1 = I_2 + I_3$$

$$\text{Nœud B} = I_2 + I_3 = I_1$$

$$\text{Maille (1)} = E - U_1 - U_2 - U_5 = 0$$

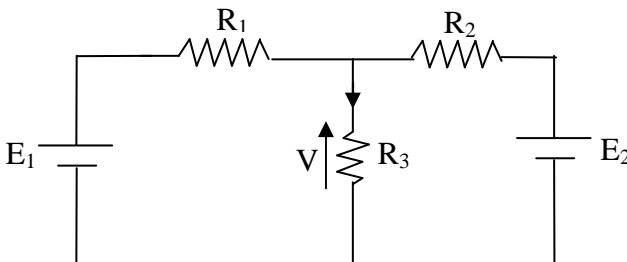
$$\text{Maille (2)} = U_2 - U_3 - U_4 = 0$$

$$\text{Maille (3)} = E - U_1 - U_3 - U_4 - U_5 = 0$$

VIII- THÉORÈMES :

1- Théorème de superposition : (www.electronique-radiomateur.fr)

Afin de présenter le théorème de superposition, voici un exemple qui va nous aider à comprendre la problématique :



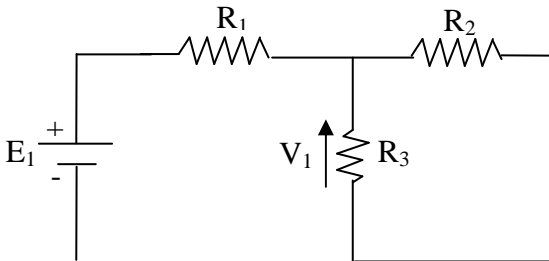
Le montage ci-dessus possède 2 générateurs E_1 et E_2 et 3 résistances R_1, R_2 et R_3 .

- 1- Nous éteignons toutes les sources de courant/tension sauf une.
- 2- Nous en déduisons une tension V' associée à cette source.
- 3- Puis nous faisons de même avec les autres sources.

- 4- La tension V finale est la somme de toutes ces tensions intermédiaires calculées.
- 5- Pour une source de tension, éteindre la source signifie une source de tension de OV, soit un court-circuit.
- 6- Pour une source de tension, éteindre la source signifie un circuit ouvert, un courant de 0 Ampère.

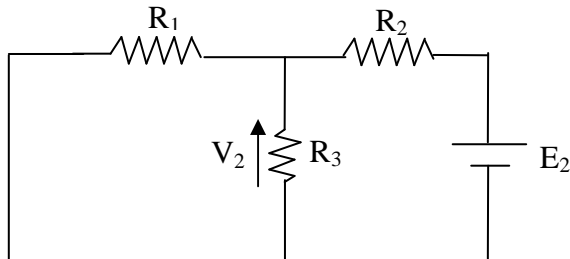
Donc :

a. On éteint E_2 et on calcule la première valeur de V donc V_1



On a: $V_1 = \frac{R_2 // R_3}{R_1 + (R_2 // R_3)} E_1$

b. Maintenant nous éteignons E_1 et allumons E_2 :



Dans ce cas : $V_2 = \frac{R_1 // R_3}{R_2 + (R_1 // R_3)} E_2$

La tension V est alors la somme de V_1 et V_2

$$V = \frac{R_2 // R_3}{R_1 + (R_2 // R_3)} E_1 + \frac{R_1 // R_3}{R_2 + (R_1 // R_3)} E_2$$

Note : $R_2 // R_3 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$ (R_2 et R_3 en parallèle)

$R_1 // R_3 = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}$ (R_1 et R_3 en parallèle)

Application numérique :

$E_1 = 12\text{V}$, $E_2 = 5\text{V}$, $R_1 = 22\text{k}\Omega$, $R_2 = 10\text{k}\Omega$, $R_3 = 33\text{k}\Omega$.

Donc :

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = 3,103 \text{ V} \\ V_2 = 2,845 \text{ V} \end{array} \right\} \text{Alors : } \begin{array}{l} V = V_1 = V_2 \\ V = 5,948 \text{ V} \end{array}$$

2- Théorème de Thévenin :

Le théorème de Thévenin s'énonce de la façon suivante :

« En courant continu, tout réseau linéaire bilatéral à deux bornes peut être remplacé par un générateur constitué d'une source de tension et d'une résistance série avec cette source »

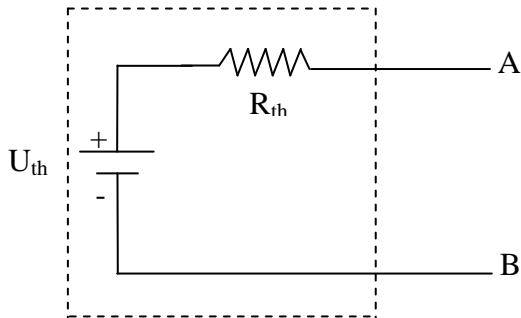


Fig.13: Générateur de Thévenin

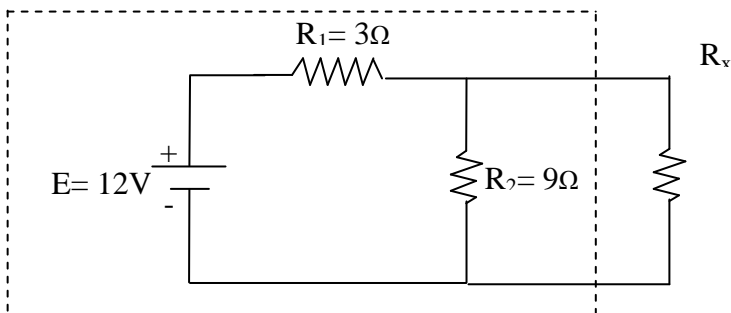
Ce théorème permet d'isoler une partie d'un réseau de résistances, le reste du réseau étant représenté par un générateur.

Voici les étapes à suivre pour déterminer les valeurs correctes de R_{th} et de U_{th} .

- 1- Retirer du réseau la branche à laquelle sera raccordé le générateur. Dans notre cas, il s'agit de la branche contenant R_x (Exemple ci-dessous).
- 2- Repérer les deux bornes du réseau.
- 3- Calculer R_{th} . Pour ce faire, court-circuiter toutes les sources de tension et mettre en circuit ouvert toutes les sources de courant ; déterminer ensuite la résistance équivalente totale présente aux deux bornes repérées (vue depuis la résistance R_x).
- 4- Calculer U_{th} . Pour ce faire restituer au réseau ses sources de tension et de courant puis déterminer la tension en circuit ouvert aux bornes repérées.
- 5- Remplacer le réseau par le générateur et raccorder aux bornes de ce dernier la branche qui avait été retirée du réseau.

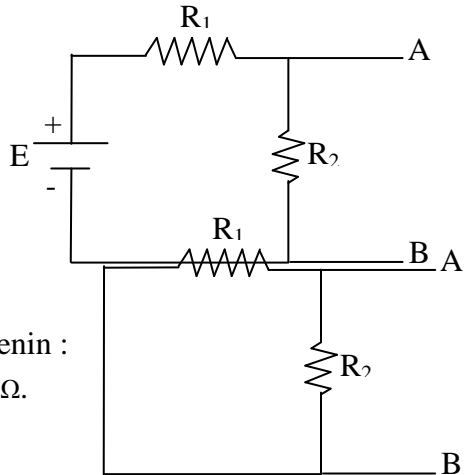
Exemple :

Trouver le générateur de Thévenin de la partie encadrée du réseau ci-dessous. Calculer ensuite le courant traversant la résistance R_x lorsqu'elle est égale à $2\ \Omega$ et $10\ \Omega$.



Étape 1 et 2 :

Débrancher la charge R_x



Étape 3 :

Court-circuiter la source E.

Calculons la résistance de thévenin :

$$R_{th} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 2,25 \, \Omega.$$

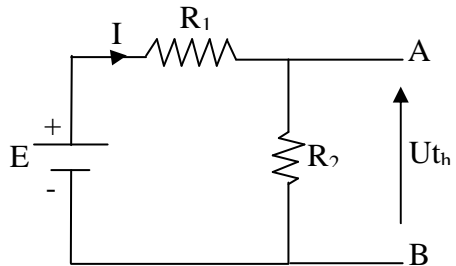
Étape 4 :

Remettre en circuit la source de tension. Calculons la tension de thévenin (Circuit ouvert entre A et B)

$$\text{On a: } E = I (R_1 + R_2)$$

$$\Rightarrow I = \frac{E}{R_1 + R_2} \Rightarrow I = \frac{12}{3+12} = 1 \text{ A}$$

$$U_{th} = R_2 \cdot I \\ = 9 \times 1 \Rightarrow U_{th} = 9 \text{ V}$$

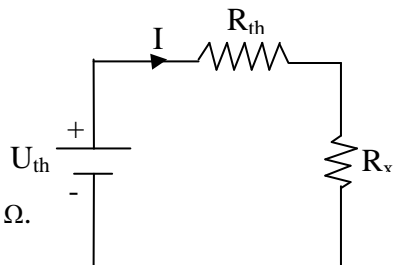


Étape 5 :

Remplaçons le réseau par le générateur de thévenin tel que :

$$R_{th} = 2,25 \, \Omega \text{ et } U_{th} = 9 \text{ V}$$

- Quand $R_x = 2 \, \Omega$, $I = \frac{U_{th}}{R_{th} + R_x} = 2,12 \, \Omega$.
- Quand $R_x = 10 \, \Omega$, $I = \frac{U_{th}}{R_{th} + R_x} = 0,74 \, \Omega$.



3- Théorème de Northon :

Le théorème de Northon s'énonce de la façon suivante :

«En courant continu, tout réseau linéaire bilatéral à 2 bornes peut être remplacé par un générateur constitué d'une source de courant et d'une résistance en parallèle avec cette source».

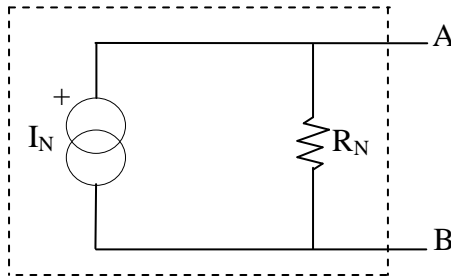


Fig.14 : Générateur de Northon

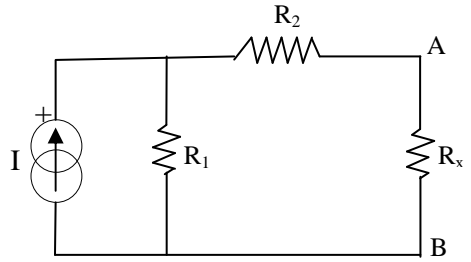
Voici les étapes à suivre pour déterminer les valeurs correctes de R_n et de I_n .

- 1-** Retenir du réseau la branche à laquelle sera raccordé le générateur. Dans notre cas, il s'agit de la branche contenant R_x .
- 2-** Repérer les deux bornes du réseau.
- 3-** Calculer R_n , pour ce faire, court-circuiter toutes les sources de tension et mettre en circuit ouvert toutes les sources de courants ; Déterminer ensuite la résistance équivalente totale présente aux 2 bornes repérées (une depuis la résistance R_x)
- 4-** Calculer I_n . Pour ce faire, restituer au réseau ses sources de tension et de courant puis déterminer l'intensité de courant qui passerait dans un court-circuit reliant les 2 bornes repérées.
- 5-** Remplacer le réseau par le générateur et raccorder aux bornes de ce dernier la branche qui avait été retiré du réseau.

Exemple :

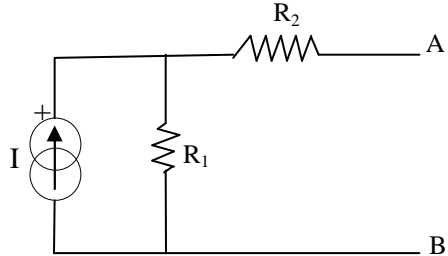
Trouver le générateur de Norton de la partie encadrée du réseau ci-contre ($R_x = 10 \Omega$).

$I = 12A$, $R_1 = 9 \Omega$, $R_2 = 3 \Omega$.



• Étape 1 et 2 :

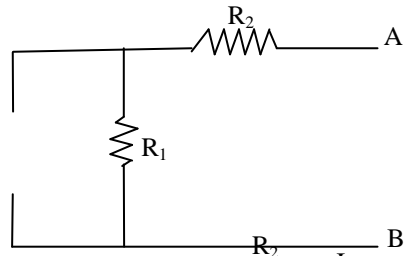
Déconnecter la charge



• Étape 3 :

Ouvrir les sources de courants
Calculons la résistance de Norton

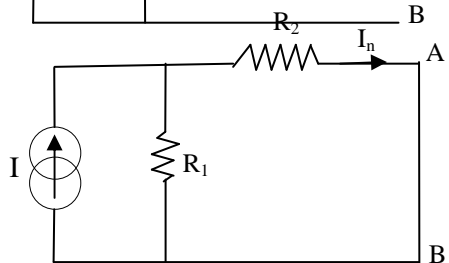
$$R_n = R_1 + R_2 = 12 \Omega$$



• Étape 4 :

Remettre en circuit la source de courant et calculer le courant de Norton I_n .

$$\text{On a : } I_n = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I = 9$$



• Étape 5 :

Calculons le courant I circulant dans la résistance R_x .

$$I_n = 9A, R_n = 12 \Omega$$

$$I = \frac{R_n}{R_n + R_x} \cdot I_n = 4,91A$$

